

EMTP를 이용한 전기 자동차 급속 충전기용 3상 DC-DC buck Converter 모델링

신세리, 주성철, 심형욱, 이재원, 김철환
성균관대학교

The Modeling of 3 Phase DC-DC Buck Converter for EV Charging System using EMTP

Seri Shin, Seong-Chul Ju, Hyong-Wook Shim, Jae-Won Lee, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 전기 자동차는 내연기관 차량을 대체할 차세대 그린카의 대표 차종으로 부각되고 있다. 전기 자동차가 상용화되기 위해서는 전기 자동차 자체의 성능뿐만 아니라 충전 인프라 발전이 함께 이뤄져야 한다. 현재 개발된 전기 자동차의 경우 충전 시간이 긴 반면 주행 거리가 짧기 때문에 효율성이 크게 떨어진다. 따라서 충전 시간을 최대한 단축시키기 위한 급속 충전 시스템 개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 전기 자동차용 급속 충전기에 적용되는 실제적인 DC-DC 컨버터를 ATPDraw/MODELS를 이용해 모델링하고 검증하였다.

1. 서 론

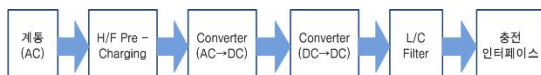
지구 온난화로 인한 기후 변화 및 온실 가스 감축 차원에서 전 세계적으로 자동차 연비 규제가 강화되고 있다. 환경 문제와 더불어 석유 수요 급증으로 유가는 꾸준한 증가와 화석 연료의 고갈은 석유 기반의 기존 내연기관에 변화를 요구하고 있다. 이러한 패러다임의 변화에 전기 자동차가 대안으로 주목받고 있다. 전기 자동차는 배터리를 사용해 순수하게 전기로만 운행해 오염물질 배출이 전혀 없다. 하지만 내연기관차와 평균적으로 한번 주유로 약 400km를 가는 반면 전기 자동차의 경우 한번 충전으로 160km 주행이 가능하다. 1회 충전으로 주행 거리가 내연기관차의 절반에 미치지 못하기 때문에 충전이 반드시 필요하다. 전기 자동차의 충전 설비는 크게 네 가지로 분류된다. 첫 번째 방식은 주택용 충전설비로 단독주택의 차고에서 220V의 가정용 전원을 이용한 충전 형태로 6시간 내외의 긴 충전 시간이 소요된다. 두 번째 방식은 주차장용 충전설비로 충전스탠드가 전기 자동차에 교류전원을 공급해 차량내의 On-board Charger에서 AC-DC 변환하여 배터리에 전원을 공급하는 방식이다. 세 번째는 충전소용 충전설비로 급속충전설비에서 AC-DC 변환하여 차량에 DC로 공급하는 방식이다. 마지막으로 배터리 교환소에서 배터리를 교환하는 방식이 있다[1]. 아파트에서 주로 생활하는 우리나라의 생활 패턴과 전기 자동차 운행 도중 방전 시 차량의 충전과 장거리 운행 등을 고려할 때, 빠른 시간 내에 배터리의 80~90% 수준까지 충전할 수 있는 급속 충전시스템이 필수적으로 요구된다. 현재 일본에서는 출력 전압 500[V], 출력 전력 20[kW], 30[kW], 50[kW]급 급속 충전기가 개발되어 시판되고 있다[2]. 우리나라의 경우 “전기자동차용 급속충전시스템 상용화 개발”사업이 공고되어 2009년 6월부터 한국전기연구원 등에서 수행하고 있으며 SK에너지, GS칼텍스, 한국 전력 등을 중심으로 제 1차 실증 단지를 설정해 개발을 장려하고 있다[1].

본 논문에서는 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 급속충전시스템의 DC-DC 컨버터 모델링을 수행하였다. EMTP를 이용하여 LC필터를 포함하는 3상 DC-DC Buck 컨버터를 모델링하고 DC-DC 컨버터의 일반적인 성능 및 특성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 급속 충전 시스템 구성

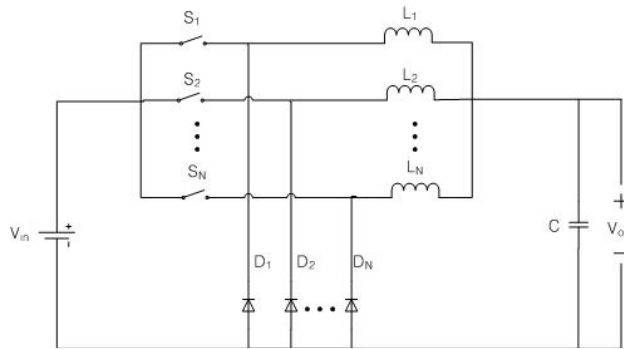
급속 충전기의 구성은 계통의 교류전력을 직류전력으로 변환하는 전력변환장치, 충전상태를 확인하는 입출력표시장치, 충전 인터페이스 등으로 구분할 수 있다. 전력변환장치는 전력계통으로부터 교류전력을 공급받아 직류전력으로 변환시킨 후 전기자동차 내부에 장착된 BMS(Battery Management System)와 실시간으로 통신하며 요구하는 충전전력을 공급하는 장치이다. 전력 변환 장치의 구성을 그림으로 도식화 하면 그림 1과 같다[3]. 현재 개발 중인 급속 충전시스템은 30분 이내에 배터리의 SOC(State of Charge)가 80%를 가능하며 충전 용량은 20[kW]에서 150[kW] 사이이다.



〈그림 1〉 급속 충전시스템 전력 변환장치 구성도

2.2 DC-DC 컨버터

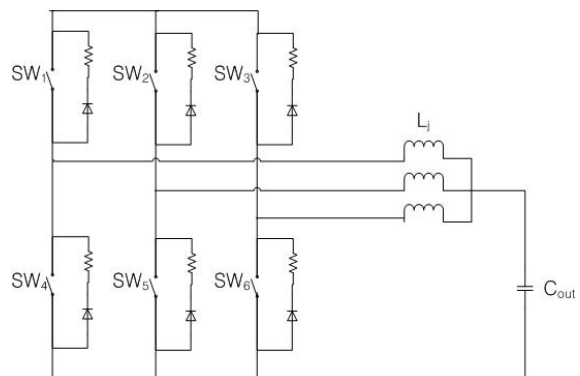
Buck 컨버터는 강압형 컨버터라고도 한다. 스위칭 소자와 LC 필터로 구성되어 있으며, 일정한 주기로 스위칭하는 스위칭 소자를 이용하여 스위치가 on 되어있는 동안 입력 전원이 회로에 연결되어 전류가 상승하고 off 되어 있는 동안은 입력 전원과의 연결이 끊어져 전류가 하강한다. 이와 같이 직류 전압을 주기적으로 잘라내어 만들어진 펄스전압을 평균하여 출력하는 방식으로 출력전압이 입력전압보다 항상 작다. 그림 2는 N상 Buck 컨버터를 나타낸 것으로 참고 문헌 [4]를 통해 스위칭 동작을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 N상 DC-DC buck 컨버터 회로도

2.3 3상 DC-DC Buck 컨버터 모델링

EMTP를 이용하여 AC-DC 컨버터에서 변환한 직류 전원을 입력받아 원하는 DC 전원으로 변환해주는 3상 DC-DC 컨버터 모델링을 진행하였다. 컨버터를 통해 강압된 직류 전압 출력은 125[V]로 설정했다.



〈그림 3〉 EMTP를 이용한 DC-DC 컨버터 모델링

그림 3은 EMTP를 이용하여 모델링한 DC-DC 컨버터의 회로도이다. 회로의 좌측이 입력된 DC전압을 원하는 크기의 DC전압으로 변환해주는 DC-DC 컨버터이며 우측에는 변환된 출력 전압과 전류의 리플을 줄이기 위해 사용되는 LC 필터이다. 이 모델링의 구조는 참고 문헌 [5]와 [6]에서 제안한 DC-DC 컨버터에 참고 문헌 [6]에서 제안한 LC 필터 연결을 통해 이루어졌다.

2.3.1 3상 DC-DC Buck 컨버터 설정

3상 DC-DC 컨버터를 통해 전기 자동차 배터리를 충전하기 위해 필요한 직류 전원을 얻을 수 있다. 스위치는 MODELS를 이용해 동작시켰다. 표 1은 DC-DC 컨버터의 파라미터 값을 나타낸다.

<표 1> 3상 DC-DC 컨버터 파라미터

변수	값
스위칭 주파수	2[kHz]
입력 커패시터	2[uF]
다이오드측 저항	0.001[Ω]

2.3.2 LC 필터 설정

출력 측의 인덕터와 커패시터는 출력 전압의 불필요한 리플 성분을 제거하기 위해 사용된다. 인덕터의 경우 3개를 델타결선으로 연결해 출력 전력을 분산시키고 반도체 스트레스 및 컨버터의 손실을 감소시킬 수 있다. 표 2는 LC 필터의 설정 값을 나타낸다[5].

<표 2> LC 필터 파라미터

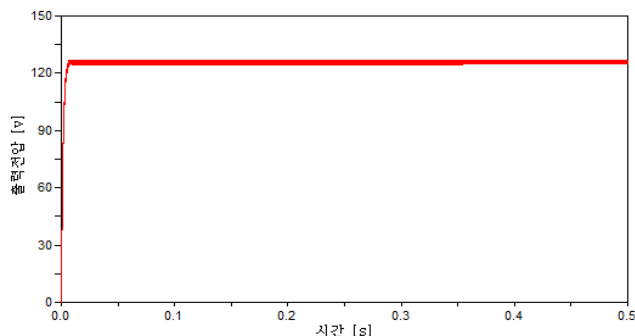
설정값	값
출력측 인덕터(Lj)	12[mH]
출력측 커패시터(Cout)	2[uF]

2.4 3상 DC-DC Buck 컨버터 성능 결과 분석

EMTP를 이용하여 모델링한 3상 DC-DC 컨버터의 성능 및 특성을 분석하기 위하여 출력 전압 파형, 출력 전압 리플 시험, 입력에 대한 출력의 손실을 확인하는 컨버터 효율 측정을 수행하였다. 출력 측에는 2 Ω의 저항을 연결하였다.

2.4.1 출력 전압 값

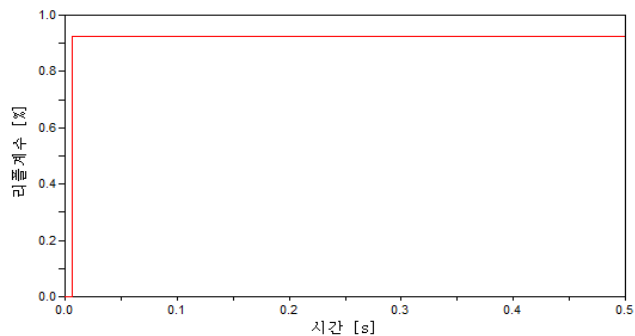
DC-DC 컨버터와 LC 필터를 통해 출력되어야 하는 직류 전압이 125[V]이다. 그림 3에서와 같이 전압 측정 허용범위가 정격전압 ± 1%이므로 평균 출력 전압은 125.7[v]로 허용 범위를 만족한다.



<그림 4> DC-DC 컨버터 출력 전압

2.4.2 출력 전압 리플 계수

그림 5는 컨버터 출력 전압에서의 리플 계수를 MODELS를 이용하여 구한 그래프이다. 출력된 리플 계수는 0.92[%]이고 이 값은 1[%] 미만의 낮은 값을 나타내고 있다.

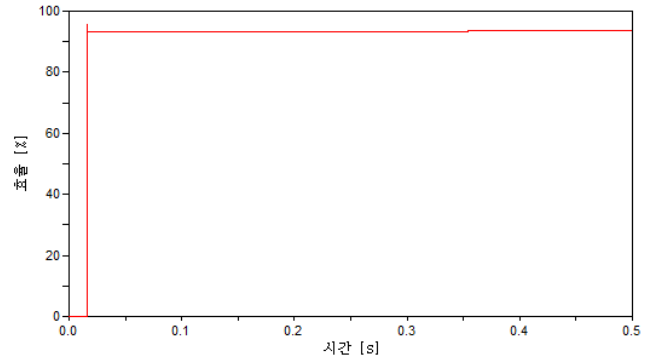


<그림 5> DC-DC 컨버터 출력 전압 리플 계수

2.4.4 DC-DC 컨버터 효율

그림 6은 DC-DC 컨버터의 효율을 MODELS를 이용하여 구한 그래

프이다. 이 때, 손실 계산 과정에서 입력과 출력 측 커패시터는 고려하지 않았다. MODELS를 통해 구한 컨버터 효율은 93[%]로 입력에 대한 출력에서의 손실이 작은 것을 나타내고 있다.



<그림 6> DC-DC 컨버터 효율

표 3은 EMTP를 통해 모델링한 3상 DC-DC 컨버터에 대한 성능 분석 결과이다. 결과로부터 전력변환장치에서 DC-DC 컨버터의 출력 전압은 충전 인터페이스에 공급되며 이 값은 약 125[v]가 된다. 출력 전압 리플은 약 1[%] 미만의 값을 나타내며 입력에 대한 출력의 DC-DC 컨버터 효율은 93[%] 수준이다. 시뮬레이션을 통해 확인한 출력 결과들은 모두 허용 오차 범위 내의 값을 출력하였다. 이를 통해 EMTP를 이용한 DC-DC 컨버터 모델링은 합리적으로 모델링 되었다는 것을 확인하였다.

<표 3> 3상 DC-DC 컨버터 성능 결과

성능 지표	결과 값
출력 전압	125.7[v]
출력 전압 리플	0.92[%]
컨버터 효율	93[%]

3. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 사용하여 3상 DC-DC 컨버터를 모델링 하고 시뮬레이션을 통해 출력 전압, 출력 전압 리플 특성 및 입력에 대한 출력의 컨버터 효율을 확인하였다. 향후 LC 필터 개선을 통해 스위칭 손실과 역회복 손실을 줄이는 연구가 진행되어 적용된다면 향후 전기 자동차 충전 시스템 및 V2G와 같은 연계 시스템 개선시킬 것이라 생각한다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20104010100630-11-1-000)

[참 고 문 헌]

- [1] 손홍관, “전기자동차 충전인프라와 스마트그리드”, 대한전기학회 전기의 세계 제 59권 제 4호, pp. 48-50, 2010
- [2] 임근희, “전기자동차의 도입환경, 기술현황, 보급정책, 경제성과 관련 이슈”, 대한전기학회 전기의 세계 제 59권 제 4호, pp. 23, 2010년
- [3] 정문규, “전기자동차용 급속충전기의 성능평가 및 특성분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.1116, 2010.7
- [4] 최진호, 마근수, 김양모, “다상 buck형 DC/DC 컨버터의 불연속 인덕터 전류 회로의 해석”, 대한전기학회 1992年度 夏季學術大會 論文集 B pp.1019-1021, 1992.7
- [5] YAOW-MING CHEN, SHENG-YU TSENG, CHENG-TAO TSENG, TSAI-FU WU, “Interleaved Buck Converters with a Single-Capacitor Turn-Off Sunbber”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems VOL40, pp.954-967, 2004
- [6] D. Aggeler, F. Canales, H. Zelaya - De La Parra, A. Coccia, N. Butcher, and O. Apeldoorn, “Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids”, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES, pp 3-4, 2010